Mitos y realidades de la investigación con células madre

Posted on 1 de mayo de 2005 by José López Barneo

La investigación con células madre, la posible aplicabilidad médica de éstas y las implicaciones éticas y religiosas que todo ello conlleva han sido asuntos de actualidad en nuestro país y objeto de una cobertura mediática amplia durante los últimos años. Estos temas también han captado la atención del gran público de otros países occidentales y han sido comentados en las páginas de opinión de las revistas científicas más prestigiosas. En España la «cuestión de las células madre» ha alcanzado un clímax especial, pues del debate social saltó, inesperadamente, a la arena política. Hemos asistido, y participado, en multitud de actos y manifestaciones protagonizados por políticos, científicos, asociaciones de enfermos, sociólogos, bioéticos o periodistas y, por tanto, parecería que el tema está «trillado» y contemplado desde todos sus ángulos. Sin embargo, y paradójicamente, no creo que en los ambientes científicos e intelectuales se haya producido con la suficiente extensión el análisis riguroso, documentado, sosegado y ajeno al impacto mediático que el asunto posiblemente requiere. Como consecuencia, la sociedad española que intuitiva y mayoritariamente apoya la investigación con células madre, permanece, al menos en la medida que personalmente puedo detectar, esencialmente desinformada, o como mínimo poco informada. Este artículo, que escribo por encargo de *Revista de libros*, pretende sumarse a la discusión de esta materia controvertida, una vez que ha desaparecido cualquier justificación para que las opiniones personales tengan ningún tipo de connotación o trascendencia política. Conocedor de la importancia que tiene la información correcta para que las personas puedan opinar y actuar con libertad, intento contribuir con mi análisis a la divulgación del estado actual y las perspectivas futuras de la investigación que se realiza sobre terapia celular y, en particular, con células madre. Desearía que, además de informar a los posibles lectores, este artículo estimulase el interés de éstos por la investigación biomédica.

¿QUÉ SON LAS CÉLULAS MADRE?

En sentido estricto, las *células madre o troncales* (*stem cells* en inglés) son aquellas que derivan del embrión en sus estadios iniciales. Una vez que el espermatozoide fecunda el óvulo, creando la primera célula con dotación genética completa (el cigoto), las sucesivas divisiones celulares que ocurren durante los primeros días del embarazo dan lugar a células hijas o *blastómeros*, dispuestas en una especie de mora (mórula). Cuando la fecundación se

realiza *in vitro* (mezclando espermatozoides con óvulos en una placa de cultivo) se seleccionan varios embriones en fase de mórula para transferirlos al útero de la madre. Los embriones restantes se pueden almacenar congelados para su posible uso posterior. En la mayoría de los países donde la fecundación *in vitro* es legal, no se permite la transferencia a la madre de embriones que lleven congelados varios años (cuatro o cinco normalmente), por lo que este procedimiento genera embriones sobrantes que o se destruyen o se usan para la investigación. Los blastómeros que derivan directamente del cigoto tienen en principio la capacidad de generar por sí mismos un nuevo ser. De hecho, los gemelos idénticos derivan cada uno de blastómeros que se independizaron y formaron mórulas diferentes. *Las células madre embrionarias noson blastómeros*, sino que se obtienen de una fase posterior del desarrollo. Cuando un embrión obtenido *in vitro* se mantiene en cultivo, en pocos días la mórula se organiza en una estructura esférica llamada *blastocisto*. En el blastocisto ya ha ocurrido una primera diferenciación celular debido a que unas pocas células forman la cubierta externa que recubre a la esfera (de donde derivaría la placenta en caso de encontrarse en el útero materno), mientras que otras se mantienen agrupadas formando la masa celular interna (de donde proceden los tejidos fetales). Las células de la masa celular interna se denominan *células madre embrionarias* porque se pueden extraer fácilmente del blastocisto y, puestas en placas de cultivo, se autorrenuevan (o multiplican) de forma acelerada y en condiciones adecuadas pueden diferenciarse a todos los tipos distintos de células de tejidos adultos: es decir, son *pluripotentes*. Dado que de cada blastocisto se extraen sólo unas pocas decenas o centenares de células madre embrionarias, el primer paso a dar con ellas es multiplicarlas en condiciones que faciliten al máximo su capacidad proliferativa y eviten su maduración hacia células más diferenciadas. De este modo se crean *líneas decélulas madre embrionarias* que pueden mantenerse congeladas de forma indefinida y utilizarse cuando convenga. Las células madre embrionarias obtenidas de la forma indicada no tienen capacidad de generar un nuevo ser, pero tratadas de forma adecuada sí pueden diferenciarse hacia los tejidos deseados (como, por ejemplo, células del sistema nervioso o productoras de insulina, músculo cardíaco y hueso). La obtención de líneas de células madre es un procedimiento que, aunque tiene por el momento una eficiencia no demasiado alta, es relativamente sencillo, por lo que se podrían generar muchas de ellas a partir de los embriones congelados (que se estiman en varias decenas de miles en España) existentes en las clínicas de fecundación *in vitro*. Aunque es difícil hacer predicción alguna en este campo, es muy probable que muchos de los embriones se hayan congelado en condiciones inadecuadas y que sus células estén muertas o dañadas. Parece, por tanto, aconsejable que los programas de investigación en células madre embrionarias cuenten con la donación permanente de nuevos embriones sobrantes de la fecundación *in vitro*. Las líneas de células madre embrionarias de animales comunes de laboratorio (ratones generalmente) se utilizan desde hace años de forma rutinaria en todos los centros de investigación y se intercambian

entre ellos de forma fácil y segura. Las primeras líneas de células madre embrionarias humanas con capacidad para diferenciarse en tejidos adultos se describieron hace solamente siete u ocho años James A.Thompson, Joseph Itskovitz-Eldor, Sander Shapiro y cols., «Embryonic stem cell lines derived from human blastocysts», *Science*, vol. 282 (1998), pp. 1145-1147. , Arlene Y. Chiu y Mahendra S. Rao,*HumanEmbryonic Stem Cells*, Totowa, Humana Press, 2003.. Actualmente, tanto la producción de nuevas *líneas de células madre embrionarias humanas* como el intercambio de las mismas está regulado por leyes específicas en los diferentes países.

Un segundo tipo de células con capacidad de autorrenovación y potencialidad para generar nuevos tejidos son las llamadas *células madre adultas océlulas madre específicas de tejido.* Se sabe desde hace décadas que en numerosos órganos de nuestro cuerpo existen poblaciones celulares que conservan la capacidad de autorrenovarse y, en determinadas circunstancias, madurar hacia nuevas células adultas. El ejemplo paradigmático de las células madre adultas son las de la médula ósea.Aquí se encuentran las «células madre hematopoyéticas», de las que derivan todas las células de la sangre (los glóbulos rojos, las plaquetas y los diferentes subtipos de glóbulos blancos), y las «células madre mesenquimales», de donde pueden derivar, además, otros tejidosSantiago Grisolía, M.ª Dolores Miñana y Elena Bendala-Tufanisco, *Mesenchymal StemCells: Biological and Potential Clinical Uses*. Madrid, Ministerio de Sanidad y Consumo/Fundación Valenciana de Estudios Avanzados, 2003..También existen células madre adultas en tejidos con alta capacidad de crecimiento o regeneración, como el epitelio intestinal, la piel o el hígado. En contraste con las creencias previas, se ha descubierto recientemente una pequeña dotación de células madre adultas incluso en el cerebro humano. La idea más aceptada actualmente, aunque todavía con base científica débil, es que posiblemente en todos los órganos de nuestro cuerpo existan células madre o progenitoras responsables de la capacidad de regeneración (mayor o menor) de los mismos. Se desconoce por el momento la verdadera *pluripotencialidad* de las células madre adultas. Las células madre mesenquimales mencionadas anteriormente están siendo objeto de estudio de forma especialmente intensa porque en determinadas condiciones experimentales pueden convertirse en células de otros tejidos (como neuronas o músculo cardíaco). La verdadera potencialidad terapéutica de estas células está, por el momento, sometida a debate.

LA TERAPIA CELULAR Y LAS CÉLULAS MADRE EMBRIONARIAS

Aunque la existencia de células madre embrionarias se conoce desde los inicios de la embriología moderna, hace más de cien años, el interés científico reciente por ellas se debe, fundamentalmente, a su posible aplicabilidad en *terapia celular*. Existen numerosas enfermedades que cursan con muerte de células específicas, producida por causas

genéticas, degenerativas o traumáticas. Por ejemplo, casi todos los síntomas de la enfermedad de Parkinson se deben a la muerte de neuronas localizadas en una zona del cerebro denominada sustancia negra y a la falta del producto (la dopamina) que ellas producen. Igualmente, algunos tipos de diabetes se deben a la ausencia de células pancreáticas productoras de insulina. En los infartos cerebrales o del miocardio la muerte celular correspondiente se produce por falta de riego sanguíneo a regiones específicas del cerebro o el corazón, y en las lesiones medulares la destrucción tisular es consecuencia de un traumatismo. Uno de los objetivos más ambiciosos de la medicina moderna es tratar estas enfermedades mediante la producción y/o administración de nuevas células que lleven a cabo las funciones de las células destruidas o que ayuden a la regeneración parcial o total de las células lesionadas. Aunque la terapia celular se ha ensayado con éxito en algunas patologías, como por ejemplo en pacientes parkinsonianos, su uso clínico está todavía restringido a unos pocos estudios piloto. Para la mayoría de los enfermos potencialmente beneficiarios de la terapia celular, esta es sólo una opción que podría materializarse en el futuro pero que en este momento ha de considerarse como en *estadio de investigación preclínica*. Una de las limitaciones más importantes de la terapia celular es la disponibilidad de células que ejecuten las funciones deseadas y que puedan administrarse a los enfermos con niveles de seguridad aceptables. Por su potencialidad para producir cualquier tipo de tejidos, las células madre embrionarias proporcionan, en principio, una fuente inagotable de material para su uso en trasplantes celulares terapéuticos. Por ello, la diferenciación de células madre embrionarias a células adultas es una de las líneas de vanguardia de la investigación actual. En algunos modelos animales de enfermedades neurológicas o cardíacas el implante de células madre embrionarias ha producido mejorías en la sintomatología muy apreciables. Igualmente se ha descrito que el trasplante de células madre embrionarias productoras de insulina mejora los síntomas de la diabetes experimental.

Junto a los prometedores avances ocurridos en la investigación con células madre embrionarias, en los ambientes científicos más serios predomina una actitud cauta, e incluso escéptica, sobre la aplicabilidad de las mismas en terapia celular humana. Es indiscutible que los éxitos de la medicina actual derivan de la labor realizada previamente en laboratorios de investigación, sin embargo, son los científicos quienes saben mejor que nadie que la traslación de los resultados científicos a la práctica médica es un camino pavimentado de fracasos y decepciones. El agudo ensayo titulado «Lost in translation»,aparecido recientemente en la revista *Nature*Kenneth R. Chien, «Lost in translation», *Nature*, vol. 428 (2004), pp. 607-608. , debe servir de freno a la euforia prematura sobre el efecto curativo de la terapia con células madre. Indudablemente, la mejor receta para una traslación con posibilidades de éxito es la *investigaciónde calidad.* Se conoce todavía muy poco sobre los

mecanismos moleculares que determinan la diferenciación temprana de las células madre embrionarias y su estabilidad a medio y largo plazo. No se puede descartar, por el momento, que las células madre embrionarias supuestamente diferenciadas *in vitro* puedan iniciar un proceso de proliferación una vez implantadas y produzcan procesos tumorales. El uso clínico rutinario de las células madre embrionarias requerirá bien la modificación de algunos caracteres genéticos de las mismas para evitar el rechazo inmunológico, o la *clonación terapéutica*. Independientemente de los aspectos éticos (véase más abajo), existen numerosos interrogantes metodológicos por responder tales como las consecuencias de la eliminación de los antígenos celulares de superficie o la factibilidad y rentabilidad médica de la clonación terapéutica. Este último procedimiento implica la obtención de óvulos a los que, tras extraer su propio núcleo, se transfiere el núcleo de una célula somática conteniendo los genes del donante. Este método de reprogramación nuclear que, aunque con baja eficiencia, ha funcionado en algunos mamíferos e incluso en el hombreWoo Suk Hwang,Young June Ryu, Jong Hyuk Park y cols., «Evidence of a pluripotent human embryonic stem cell line derived from a cloned blastocyst», *Science*, vol. 303 (2004), pp. 1669-1674., proporciona blastocistos con células madre embrionarias de características genéticas casi idénticas a las del individuo donante del núcleo celular. Aunque las posibilidades que ofrecen estas células clónicas son enormes, la terapia basada en la administración de células madre embrionarias exógenas diferenciadas *in vitro* parece, en principio, indicada sólo en enfermedades con lesiones muy localizadas (como, por ejemplo, la enfermedad de Parkinson o la diabetes). Es por el momento difícil imaginar cómo los implantes neuronales podrán suplir las deficiencias en enfermos como los de Alzheimer, con lesiones cerebrales muy amplias, en los que, además de reemplazar las células degeneradas, es necesario restablecer la delicada red de conexiones interneuronales de las que depende el control motor o la memoria.

APLICACIONES BIOTECNOLÓGICAS DE LAS CÉLULAS MADRE EMBRIONARIAS

La terapia celular fundamentada en las células madre embrionarias no es la panacea de la medicina del siglo XXI y es obvio que las expectativas generadas en algunos casos no se corresponden con el conocimiento científico disponible. No obstante, hay razones fundadas para que la investigación con células madre embrionarias tenga un carácter prioritario en el sistema de investigación y desarrollo español. El análisis de la diferenciación temprana de las células madre embrionarias aportará un conocimiento científico básico que, independientemente de su utilidad en terapia celular, servirá para conocer mejor procesos patológicos como el envejecimiento o el cáncer. Además, a partir de las líneas de células madre embrionarias se podrán generar *modelos celulares de enfermedades humanas* que actualmente no son factibles. Una aplicabilidad adicional de las células madre embrionarias, en mi opinión posiblemente la más interesante, es que facilitará los estudios *in vitro* de

farmacogenética humana una vez se disponga de grandes bancos de líneas celulares representativas de las diferentes poblaciones. Esto permitirá estudiar cómo las células responden a los fármacos según su perfil genético, lo que previsiblemente hará más barato y eficiente la generación de nuevos medicamentos.

LAS CÉLULAS MADRE ADULTAS Y LA MEDICINA REGENERATIVA

En paralelo a los avances en la investigación con células madre embrionarias, el interés por la posible aplicabilidad clínica de las células madre adultas también ha aumentado en los últimos años. En el contexto de la terapia celular, las células madre adultas podrían tener algunas ventajas sobre las embrionarias por su mayor estabilidad y, al menos hasta que se desarrolle la clonación terapéutica, porque hacen factible la realización de autotrasplantes, evitando numerosos problemas técnicos, entre los que destaca el rechazo inmunitario. La existencia de células madre adultas en la sangre es lo que ha permitido realizar, desde hace décadas, los trasplantes de médula ósea a los pacientes con leucemia.Actualmente se investiga sobre la capacidad de células madre del cerebro para producir *in vitro* diferentes tipos de neuronas adultas, o de las células progenitoras en otras localizaciones para diferenciarse en tejido conectivo, óseo o pancreático. Sin embargo, el conocimiento sobre estos tipos celulares es muy fragmentario. Por ejemplo, aunque en el intestino humano disponemos de una población particularmente activa de células madre, de las que derivan diariamente decenas de millones de células epiteliales nuevas, todavía no sabemos cómo aislarlas y mantenerlas en cultivo de forma estable. Como se comentó anteriormente, un tipo celular que ha recibido atención especial por su potencial terapéutico son las células madre mesenquimales de la médula ósea[Santiago Grisolía, M.ª Dolores Miñana y Elena Bendala-Tufanisco, *Mesenchymal StemCells: Biological and Potential Clinical Uses*. Madrid, Ministerio de Sanidad y Consumo/Fundación Valenciana de Estudios Avanzados, 2003.]. Estas células parecen tener una pluripotencialidad muy acusada, siendo capaces de diferenciarse *in vitro* de células de la sangre y de neuronas, células musculares cardíacas o tejido hepático.También se ha descrito que las células mesenquimales pueden producir otros linajes celulares *in vivo*. En mujeres leucémicas que han sido tratadas con trasplante de médula ósea de un varón (cuyas células contienen el cromosoma Y) y que al fallecer fueron sometidas a autopsia, se encontraron células de diferentes órganos (corazón, hígado o incluso cerebro) que contenían el cromosoma Y. Algunos autores interpretan este hecho como confirmatorio de la *transdiferenciación* (generación de células de un tejido a partir de células madre de otro tejido diferente) de células madre mesenquimales del varón donante en células diferenciadas en los órganos de la mujer receptora[Donald Orlic, Jan Kajstura, Stefano Chimenti y cols., «Bone marrow cells regenerate infarcted myocardium», *Nature*, vol. 410 (2001), pp. 701-705.]. Sin embargo, otros investigadores explican estas observaciones

simplemente por la *fusiónde las células trasplantadas* con las células del receptor7 Manuel Álvarez-Dolado, Ricardo Pardal, José María García-Verdugo y cols., «Fusion of bone-marrow-derived cells with Purkinje neurons, cardiomyocytes and hepatocytes», *Nature*, vol. 425 (2003), pp. 968-973.. En paralelo a estas investigaciones se han realizado estudios piloto en varios países (entre ellos España) con el objetivo de estimular la regeneración del tejido cardíaco con células madre mesenquimales en pacientes que han sufrido infarto de miocardio. El mecanismo de acción de estos trasplantes se desconoce, y si bien los resultados, aunque discretos, han sido alentadores en algunos casos, en otros han producido efectos indeseables importantes.

Entre las líneas de investigación sobre medicina regenerativa más activas destaca el uso de células madre del sistema nervioso adulto para producir neuronas o células gliales que sinteticen factores neurotróficos. Éstos podrían utilizarse para proteger a las neuronas lesionadas o estimular la regeneración de fibras nerviosas dañadas. Dentro de las enfermedades que podrían ser tratadas con este tipo de tecnologías están las lesiones medulares o la esclerosis múltiple. Finalmente, la existencia de células madre en el cerebro adulto, especialmente en zonas como el hipocampo, relacionadas con la memoria témporo-espacial, permite especular con la posibilidad de activación de las células madre adultas, de forma que den lugar no sólo a nuevas células sino al restablecimiento de los circuitos neuronales defectuosos.

La investigación con células madre embrionarias y adultas ofrece posibilidades muy atractivas por su aplicabilidad a diferentes campos y, por tanto, debe ser apoyada de forma decidida y sin reservas. Sin embargo, el desarrollo de la medicina regenerativa no podrá ocurrir fuera de un sistema de investigación biomédica propio y de calidad que lo permita. En mi experiencia, los programas de terapia celular creíbles necesitan de la cooperación estrecha entre la mejor investigación básica y servicios clínicos de excelencia. El apoyo a instituciones capaces de ofertar estos medios es indudablemente la forma adecuada de potenciar la medicina regenerativa en nuestro país.

CÉLULAS MADRE, BIOÉTICA Y RELIGIÓN: ¿RETORNO AL PASADO?

La investigación con células madre embrionarias, como otras facetas de la ciencia o la técnica actuales, tiene aspectos éticos no desdeñables. Además, el debate sobre el uso científico y terapéutico de células madre embrionarias está teñido de connotaciones religiosas: para unos, imprescindibles y, para otros, indeseables. A pesar de que, en palabras del papa Juan Pablo II «la Fe nunca debe entrar en conflicto con la razón», la realidad es que el principio del derecho a la vida, incluso en la fase embrionaria inicial, defendido a ultranza por la religión católica, choca con otro anhelo fundamental del ser humano como es la lucha

contra el sufrimiento y la enfermedad. Parece que, como en el pasado con Galileo o Darwin, reaparece la *tensión entre la Fe y la Ciencia*. Es importante destacar, no obstante, que en lo concerniente al debate teológico sobre el origen de la vida humana, las posiciones de las diferentes religiones son variables. Para la mayoría de los judíos o los musulmanes, el embrión sólo alcanza la naturaleza humana varias semanas tras la fecundación, una vez que adopta una forma parecida a la del hombre. De hecho, dos países religiosamente muy ortodoxos como Israel o Irán han bendecido la investigación con embriones humanos. Como los católicos, algunas sectas hindúes sitúan en la concepción el origen de la vida, mientras que los budistas consideran la clonación terapéutica como una saludable «reencarnación de la vida», en armonía con sus creencias más genuinas. En los foros donde se discute sobre bioética, las diferentes posiciones, muy influidas por las creencias religiosas, varían entre los que niegan rotundamente cualquier manipulación del embrión humano y los fervientes defensores de la clonación terapéutica. Después de años de debate, las Naciones Unidas elaboraron hace unos meses una declaración de «compromiso», no vinculante, que para satisfacer a todos insta a los Estados miembros a que en sus respectivas legislaciones sobre el uso de embriones y la clonación terapéutica se respete la «dignidad humana». Sí existe un acuerdo unánime en el rechazo a la clonación reproductiva en el hombre, es decir, el uso de la reprogramación nuclear para producir individuos semejantes al donante. Independientemente de los aspectos éticos y la ausencia de indicaciones médicas que la aconseje, la clonación reproductiva tiene limitaciones técnicas e incertidumbres posiblemente insuperables. Los mamíferos obtenidos hasta la fecha por reprogramación nuclear desarrollan numerosas patologías y envejecimiento precoz.

Dado que los intentos de establecer reglas éticas sobre la clonación terapéutica y el uso de células madre embrionarias humanas que trasciendan las barreras culturales y religiosas han fracasado estrepitosamente, es más que posible que el debate sobre «clonar o no clonar» continúe. En mi opinión este es sólo uno de los puntos de fricción entre la ciencia y las embrionarias. Paradójicamente, en España, país con claro predominio social de la religión católica, la mayoría de la población apoya la investigación con células madre. De hecho, tenemos desde hace años una legislación que, con pocas restricciones reales, permite el aborto y la fecundación *invitro*. Desde el punto de vista científico, el evento biológico más crítico en la creación de un nuevo ser es la fecundación. Sin embargo, esto no impide que en los ambientes académicos independientes y más cualificados, la opinión mayoritaria, que comparto, sea de *apoyo a la investigación con células madre embrionarias y adultas* sin otras limitaciones que las derivadas del respeto al uso del material embrionario humano y el cumplimiento de una normativa exigente en cuanto a los objetivos y la calidad de la investigación a realizar. Aunque desconozco los detalles, en esta dirección parecen orientarse las legislaciones españolas (autonómicas y del gobierno central) elaboradas hasta

la fecha. Sin embargo, creo que no son aconsejables las prisas innecesarias respecto a la clonación terapéutica en el hombre. Me parece prudente esperar a conocer con detalle los efectos de la transferencia nuclear, u otros métodos de clonación, en células de mamíferos para estimar cuán seguro será su uso en pacientes. Establecida la seguridad biológica, la clonación terapéutica debería activarse una vez que los estudios en curso con los embriones sobrantes de la fecundación *in vitro* muestren de forma suficientemente probada la aplicabilidad de las células madre embrionarias a la terapéutica humana.

EL IMPACTO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN CON CÉLULAS MADRE: LA RESPONSABILIDAD DEL CIENTÍFICO

Los aspectos éticos, legales y científicos relacionados con la investigación con células madre embrionarias (y, por extensión, con las células madre adultas) tienen un impacto social importante en la mayoría de los países desarrollados debido a las expectativas «curativas» que se han generado alrededor de ellas y, sobre todo, porque –como se indicó en el apartado anterior– el uso de embriones humanos enfrenta posiciones ideológicas y religiosas distintas. En España, la «cuestión células madre» se ha mantenido durante los últimos dos o tres años dentro de la actualidad mediática más candente porque, además, se ha convertido en tema de fricción política. Aunque las confrontaciones políticas son legítimas y, en ocasiones, deseables, conducen inevitablemente a discursos entre los oponentes donde los aspectos ideológicos se mezclan con estrategias o servidumbres personales, alejadas de los postulados propios de la Ciencia. Junto a una absoluta (y paradójica) desinformación de la sociedad sobre el tema, la «cuestión células madre» ha puesto de manifiesto, al menos desde mi punto de vista, las *debilidades crónicas de nuestro sistema de ciencia y tecnología* (entre otras, la falta de un pacto de Estado en apoyo de la Ciencia). Sinceramente, creo que las acciones teatrales protagonizadas por algunos científicos y apoyadas por las administraciones son tristemente «cutres», por su oportunismo y porque producirán a medio plazo decepción de la sociedad y desprestigio para la Ciencia. Además, estas actitudes desincentivan a los investigadores más serios y comprometidos con el desarrollo científico de nuestro país.

Los comentarios relativos a la «socialización» del debate sobre la investigación con células madre embrionarias obligan a la reflexión, aunque sea preliminar, sobre el papel de la Ciencia y la *responsabilidad de loscientíficos*, particularmente importante en sociedades con poca tradición científica e incorporadas tardíamente al desarrollo económico y tecnológico. La Ciencia es una herramienta cultural del hombre que ha permitido su evolución hasta los niveles hoy conocidos. El avance científico se basa en la libertad y la creatividad, por lo que, en general, los investigadores (aunque con ideologías dispares) suelen ocupar posiciones de

vanguardia en la sociedad. Conviene recordar que el objetivo último de la Ciencia es el Hombre, que la hace posible, y que los usos de la Ciencia los regulan las sociedades y no los científicos. En esta relación biunívoca Ciencia-Sociedad, ¿cuál es el papel del científico? En mi opinión, el científico debe comprometerse no sólo con la divulgación de la Ciencia, para facilitar que la sociedad la comprenda y acepte sus aplicaciones, sino que también debe involucrarse en el uso correcto de la misma en beneficio de todos. En el campo de la biomedicina es particularmente importante que los científicos seamos capaces de facilitar a nuestros conciudadanos la comprensión de los avances científicos sin crear falsas expectativas. En estos menesteres es absolutamente necesario mantener un código ético basado en el uso exclusivo del lenguaje y normas de la Ciencia, contrarias a la demagogia o exageración y que emanan del trabajo en el laboratorio sometido al juicio crítico de los colegas. La divulgación científica debe tener como objetivo fundamental la labor educativa, orientada a conformar una sociedad más culta e informada y, por tanto, más libre. Una situación anómala, que incluso la calificaría de patológica, se da en algunos ambientes de las sociedades occidentales y con especial virulencia en España, donde, junto al disfrute de los medios de comunicación más potentes y eficaces nunca conocidos, convive la desinformación más injusta y cruel. En este caldo de cultivo, en que se combina sin juicio crítico lo científico y lo fantástico, lo material y lo espiritual, la realidad y la ficción, crecen las reacciones oscurantistas acientíficas, fácilmente manipulables y propias de la posmodernidad. La actividad científica es un ejercicio de libertad individual y colectivo: el científico debe ser el agente que facilite la incorporación de la sociedad de forma responsable y con el mayor consenso posible a esta aventura maravillosa de la humanidad.

*Agradezco a Ricardo Pardal, C. Óscar Pintado, José A. Rodríguez y Juanjo Toledo sus sugerencias y comentarios. Las fotografías de las figuras han sido cedidas por C. Óscar Pintado.